

### LES PRINCIPAUX MESSAGES DU DOCUMENT

1. La fabrication additive (FA) provoquera des bouleversements dans de nombreux domaines : source d'opportunités et de relances de secteurs, elle est naturellement aussi source de risques pour les acteurs dominants notamment (par exemple le secteur du luxe en France). Il est donc essentiel d'être vigilant et ambitieux.
2. L'industrie est concernée, mais il ne faut pas oublier le grand public même si pour l'instant son engouement pour la FA ne semble pas au rendez-vous.
3. Dans tout domaine, la clé du succès tient à la capacité d'intégration matériaux / robotique / machine de fabrication / logiciels mais aussi au talent d'utilisation, ce qui nécessite de susciter coopération et mise en réseau des acteurs concernés (voir point 5).
4. Impactant de nombreux domaines, la FA pourrait permettre de revenir dans la filière de la machine – outil.
5. Au-delà des initiatives déjà prises, pour réussir, il faut, à l'instar d'autres pays, une action des pouvoirs publics pour soutenir et renforcer la mise en réseau, la coordination, la coopération entre les acteurs mobilisés autour de la FA, de l'université et de la recherche vers les start-ups et industriels existants ; un ou quelques nœuds de réseau pourraient être chargés explicitement de la coordination et de promouvoir les coopérations avec des objectifs précis (le CETIM et les Instituts Carnot ?).
6. La FA peut être un des leviers de relocalisations industrielles et d'aménagement du territoire compte-tenu des opportunités qu'elle permet.
7. Dans le cadre des réformes de l'enseignement, il serait judicieux d'utiliser la FA dans l'enseignement général et professionnel pour travailler la matière, sensibiliser au réel, préparer les acteurs de demain.
8. Enfin il est nécessaire de penser au droit de propriété.

## Remarques préliminaires

Il existe une organisation nationale et même internationale de la fabrication 3D. Cette fabrication 3D est définie par la norme NF-ISO/ASTM 52900 comme « procédé consistant à assembler des matériaux pour fabriquer des pièces à partir de données de modèle en 3D, en général couche après couche, à l'inverse des méthodes de fabrication soustractive et de mise en forme ». Cette technologie disruptive par rapport à la fabrication traditionnelle, et qui a en fait démarré il y a 15-20 ans voit ses applications démultipliées dans le cadre de la « transition numérique » et de la 4<sup>e</sup> révolution industrielle (« industrie du futur » ou « usine 4.0 », chère à l'Allemagne).

Vous pouvez contacter le responsable de ce sujet pour la France : [tahar.melliti@laposte.net](mailto:tahar.melliti@laposte.net) (plutôt « politique ») ou [jean.sreng@cea.fr](mailto:jean.sreng@cea.fr) (plus « technique ») ainsi que visiter le site dédié de l'Alliance pour l'Industrie du Futur (AIF) : <http://aif.diwi.org/>. Par ailleurs, presque toutes les régions de France et presque tous les organismes tels que le CEA, le CNRS, la FIM/CETIM, Syndicat du conseil, l'UIMM etc... ont un groupe de travail sur la fabrication additive. Citons l'étude de recensement des acteurs clés de la R&D en fabrication additive (compétences et moyens) en France qui a été réalisée auprès de 60 centres de compétences (mai 2017). Cette cartographie a été établie par les Instituts Carnot ([denis.roizard@iceel.fr](mailto:denis.roizard@iceel.fr)) de la filière Manufacturing, dont le CETIM est pilote, en lien avec l'AIF et la communauté Fabrication additive : <http://www.cetim.fr/Actualites/En-France/A-la-une/La-fabrication-additive-a-sa-cartographie-des-acteurs-clés-de-la-R-D> (également téléchargeable sur le site dédié de l'AIF).

La DGE et le CGET<sup>1</sup> ont publié une étude prospective sur le futur de la fabrication additive (janvier 2017)

[https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions\\_services/etudes-et-statistiques/prospective/Industrie/2017-Fabrication-additive.pdf](https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Industrie/2017-Fabrication-additive.pdf). Cette étude analyse le positionnement et les conditions de développement de la fabrication additive en France et dans ses territoires, sur le marché grand public et au sein des filières industrielles et de leurs processus productifs. Elle présente aussi une analyse SWOT<sup>2</sup> de l'offre française dans un contexte international.

Nous sommes donc face à un sujet en pleine effervescence.

### 1. Pourquoi ce sujet ? Vers quelles directions orienter notre étude ?

Ce sujet est effectivement très important à étudier pour l'OPECST compte-tenu des implications techniques, stratégiques, industrielles, économiques et sociétales. Cet aspect varié des impacts potentiels de ce développement technologique est particulièrement développé ici autour de la question 4.

- a. La technologie est encore en développement avec de nombreuses voies techniques possibles suivant le type d'application, le type de matériau concerné, l'arbitrage qualité/ productivité / coûts, etc...
- b. Nous sommes typiquement encore dans la période classique d'excitation autour d'une nouvelle technologie où les investissements publics et privés augmentent rapidement. Cet enthousiasme sera forcément partiellement « douché » pour certaines pistes avant que les vraies pistes d'industrialisation ne soient dégagées – même si certaines

---

<sup>1</sup> En collaboration avec l'Observatoire de la plasturgie, le Syndicat français de l'industrie cimentière, Aluminium France, l'Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux ainsi que la Fédération forge fonderie

<sup>2</sup> Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

existent déjà comme celle des prothèses ou de certains composants dans l'aviation. Avoir misé sur les bonnes technologies, les bons sujets ainsi que sur les bonnes conditions d'application fera la différence.

- c. La France n'a pas de véritable politique aujourd'hui dans le domaine mais commence à en développer une (voir remarque ci-dessus sur l'AIF et le rapport DGE/CGET, avec la difficulté des relations nationales / régionales). L'Académie des technologies a d'ailleurs publié récemment un rapport sur l'industrie du futur qui inclut la fabrication additive<sup>3</sup>. Ce rapport souligne la nécessaire coordination nationale et régionale. Il est à noter que l'Allemagne, les USA et le Japon ont lancé chacun une initiative nationale.
- d. Le PIA3 met une forte priorité sur la « transition numérique », laquelle inclut la fabrication additive. C'est pourquoi, plusieurs instituts créés par le PIA1 se sont fédérés pour attaquer ce sujet. C'est particulièrement le cas de 4 Instituts de Recherche Technologiques (IRT) sur les 8 existants.
- e. Des bouleversements sont à attendre avec leur cortège d'opportunités et de risques pour nombre de secteurs industriels, Des positions dominantes pourront être gagnées, d'autres perdues. C'est ainsi par exemple, que l'industrie du luxe, où la France est dominante, doit être active ! De plus, les progrès de la fabrication additive vont rendre obsolètes certains types de fabrication actuels dans des secteurs déjà en situation difficile : par exemple, la plasturgie, la forge, la fonderie. Une évolution importante de ces métiers est à prévoir. Ils en sont conscients : c'est une opportunité aussi mais ce ne sera pas indolore.

---

<sup>3</sup> Industrie du futur : du système technique 4.0 au système social, rapport voté le 8 novembre 2017

Le rapport de l'Académie des technologies insiste sur la formation pour réussir la transition numérique.

Quant à savoir dans quelle direction orienter l'étude de l'OPECST, nous ne pouvons pas facilement donner de priorités tant les différents aspects sont entremêlés même si une analyse fine de la situation de secteurs-clés (aéronautique, automobile, secteur médical, industrie du luxe particulièrement) semble une base.

## **2. Quels sont les champs d'application de l'impression 3D ? Outre les aspects industriels, quelle est l'importance de l'usage domestique (ou dans les « Fab lab ») de l'impression 3D ? Comment prévoyez-vous l'évolution du marché « grand public » de l'impression 3D ?**

Les imprimantes sont et seront de dimensions très différentes. Des petits ateliers et des bricoleurs se procureront des petites machines simples ou très spécialisées et des grands industriels dans divers secteurs s'équiperont d'un parc de grandes machines, avec tous les intermédiaires imaginables.

Les aspects « grand public » concernent les imprimantes 3D permettant de fabriquer des formes complexes avec une précision qui ira croissante. Ces imprimantes sont déjà disponibles sur le marché avec les logiciels associés (il suffit de taper « imprimante 3D » sur un moteur de recherche). L'ensemble est accessible à des prix raisonnables (500€ environ). Le matériau est un plastique spécial. Il n'est pas facile de savoir qui va prendre la place prépondérante dans la chaîne de valeur entre les fabricants de machine, les fournisseurs de matériaux et les fournisseurs de logiciels.

L'accessibilité de cette technologie à un environnement familial va permettre une très grande diversité d'utilisations pour l'instant peu prévisibles.

Les utilisateurs potentiels familiaux ne semblent cependant pas pour le moment se ruier pour utiliser ces nouvelles possibilités<sup>4</sup>.

Un autre aspect important est la précision de la forme obtenue. La compétition se fera sur les aspects prix et sur les aspects qualité, avec probablement une vaste gamme d'imprimantes entre « approximatif mais pas cher » et « plutôt précis mais plus cher ». La France a sûrement des atouts sur les matériaux et sur les logiciels. Elle a moins d'atouts sur la fabrication des machines elle-même sauf pour des créneaux industriels assez spécialisés<sup>5</sup>. Nous sommes pratiquement absents des imprimantes « familiales » car les grands acteurs du marché pour les imprimantes 2D en développent déjà.

Les « Fab lab » sont un élément indispensable pour que la technologie soit accessible à un grand nombre d'entreprises. C'est important pour leur montée en compétence : il faut pouvoir expérimenter sur des machines concrètes sur des « produits » qui vous concernent (voir **encart 1**). Ces « Fab lab » sont également importants pour la formation initiale et continue (voir aussi 4.3.4 en complément).

Notons au passage que les premières imprimantes 3D ont commencé en France grâce à Jean-Claude André<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> Au Consumer Electronic Show qui s'est tenu à Las Vegas début janvier 2018, l'absence de leaders du domaine témoigne des difficultés actuelles du marché de l'impression 3D « grand public »

<sup>5</sup> Par exemple l'entreprise BeAM : <http://www.beam-machines.fr/> pour le rechargement laser

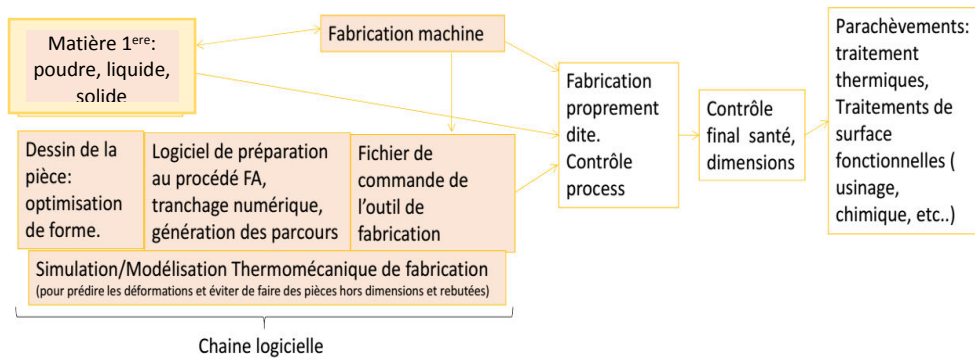
<sup>6</sup> Le 16 juillet 1984, le 1<sup>er</sup> brevet sur la « fabrication additive » est déposé, par trois Français : Jean-Claude André, Olivier de Witte, et Alain le Méhauté, pour l'entreprise CILAS ALCATEL

**Encart 1 - Un exemple de Fab Lab créé dans une ETI** dont tous les services tirent profit de l'impression 3D plastique : du prototype au bureau d'étude, des démonstrateurs marketing à l'outillage sur les machines de production. Pour que tous « apprivoisent » cette technique, AXON' CABLE (2150 salariés) a créé un « Fab Lab Café » dans l'entreprise, où tout est gratuit (Arduino, filament plastique...) et où les salariés, n'ayant pas appris les technologies 4.0 à l'école, peuvent amener leurs enfants et leurs amis. En faisant des objets pour eux et sur leur temps privé, cela forme les salariés et leur donne des idées qu'ils pourraient appliquer dans l'entreprise : c'est le retour sur investissement pour l'entreprise.

### **3. Quelles sont les questions posées par l'impression 3D ? Quelles sont les problématiques ?**

Il y a de multiples technologies (voir l'annexe 1 qui dénombre 7 « familles », chacune d'elle ayant un nombre important de variantes). Chacune d'elle a des avantages et des inconvénients en matière de coût, de précision, de rapidité d'exécution...etc. De plus, le choix dépendra énormément des applications : utiliser une imprimante 3D pour faire un cadeau original à votre fille sera différent de fabriquer en série des composants de sécurité pour un avion de ligne.

La chaîne de valeur, résumée dans le diagramme ci-dessous, est assez complexe et toutes les étapes doivent être intégralement maîtrisées pour réaliser une offre globale. Les « briques » foncées nous paraissent les points essentiels, le reste pouvant plus facilement être sous-traité. Une redistribution de la création de valeur le long de la chaîne productive aura donc certainement lieu.



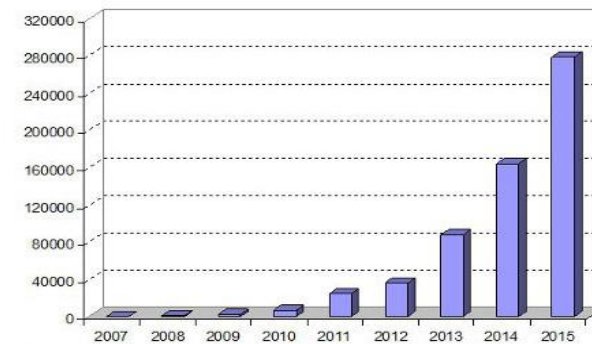
En particulier on notera l'importance de la partie numérique qui se développe très rapidement. Comme dans le cas de l'usine 4.0, les fabricants de machines devront développer des « jumeaux numériques ou *digital twin* » pour les différentes techniques de l'impression 3D. L'autre point compliqué est la maîtrise du comportement des matériaux en cours de production car cette technique transforme la matière. Dans le cas des pièces métalliques par exemple, il y a une métallurgie spécifique qu'il s'agit de comprendre. Ce sont là des domaines où la France a des compétences qui peuvent être utilisées.

#### 4. Quels sont les enjeux : économiques, stratégiques, industriels, éthiques (Homme augmenté...), écologiques (déchets, recyclage...), sociaux, juridiques (propriété intellectuelle...)...?

##### 4.1. Enjeux économiques mondiaux

Les enjeux sont considérables et concernent de nombreux secteurs. Les prévisions de croissance du marché mondial de la fabrication additive à l'horizon 2020 (vente de machines, consommables et services associés) varient entre 11,7 et 21,2 milliards de \$, selon les cabinets d'étude (cf. étude de la DGE/CGET citée en préliminaire).

Les enjeux dépendent énormément du marché applicatif visé : si on reprend l'exemple des imprimantes 3D « familiales », il y a beaucoup d'études de marché mais à prendre avec un certain recul.



Source: Wohlers Report 2016

Evolution de la vente d'équipements et de consommables ainsi que de services d'impression 3D depuis 2007 d'après le rapport Wohlers 2016. En 2015, le marché de l'impression 3D était de 5,165 milliards de \$. En 2016, toujours selon Wohlers (rapport 2017), il a atteint 6,063 milliards de \$, soit 17,4% de croissance par rapport à 2015

En tous cas, les avis sont unanimes : il y a un grand potentiel, probablement surévalué comme souvent dans ce genre de situation mais pourtant bien réel.

**4.1.1 Les enjeux** concernent la **conception et le design** grâce à la rapidité avec laquelle le produit peut être modifié, adapté à la demande des clients (changement de quelques lignes de code et relance de l'impression). Ces technologies sont révolutionnaires dans les phases de prototypage. C'est d'ailleurs historiquement leur première application (aéronautique, automobile).

Dans le même ordre d'idée mais en allant au-delà, c'est une source importante d'innovations car il est possible d'inventer des formes totalement nouvelles avec des géométries plus complexes, d'intégrer davantage de fonctionnalités, réduisant ainsi le nombre d'étapes d'assemblage.

Ceci donne donc une grande liberté de design, permettent de tester une grande variété de prototypes ainsi que leur qualité avant la production industrielle, réduisant ainsi le délai de développement du produit. C'est particulièrement important pour une personnalisation esthétique des produits. En particulier pour les objets de luxe, il est possible de libérer la création et d'aller à l'ultra-personnalisation (ex. chaussures, vêtements..., voir **encart 2**). Ces potentialités pourront cependant aussi susciter l'arrivée de nouveaux acteurs en France et remettre en cause les positions dominantes (secteur du luxe par exemple).

De plus, modèle numérique et modèle physique pourront être développés simultanément (design dynamique).

#### **Encart 2 - Personnalisation (secteur du luxe) \***

##### ***De nouvelles opportunités pour la création***

La possibilité de transformer une création originale décrite numériquement en un objet tridimensionnel libère complètement le travail de création. L'impression 3D peut aussi être combinée aux savoir-faire de production traditionnels pour les préserver. Il sera par ailleurs important de définir le droit de la propriété de la création.

##### ***De l'ultra personnalisation à la co-crédation ?***

Le créateur pourra travailler de façon étroite avec son client sur un objet de luxe tout à fait personnel et sur-mesure qui pourra être fabriqué dans un délai très court.

##### ***Vers la dématérialisation des vêtements ?***

Le futur de l'impression 3D dans l'industrie de la mode sera selon certains la dématérialisation. Les stylistes créeront leurs fichiers 3D avant de les vendre directement au public. Il sera possible d'acheter le design en ligne et d'imprimer ensuite l'objet désiré.

\*travail de l'Académie des technologies en cours de finalisation (1<sup>er</sup> semestre 2018) à propos de l'impact des technologies de demain sur l'écosystème de la mode

**4.1.2 Des enjeux** concernant **la maintenance** grâce à la possibilité d'imprimer localement une pièce de rechange/détachée ou un composant par simple envoi du fichier, évitant ainsi le transport à grande distance de grandes pièces par exemple, ainsi que le stockage des pièces en général. Ceci a donc un impact potentiel sur la chaîne d'approvisionnement de matériels et sur la gestion des unités de stockage.

**4.1.3 Les outils d'optimisation topologique 3D de la forme** permettent de dessiner des pièces engageant le moins de matière possible pour une application donnée. Cette possibilité, couplée au principe même de la fabrication additive (procédant par ajout de matière au lieu de le faire par enlèvement), permet de réduire de façon importante la quantité de matière nécessaire pour un produit donné. Il semble que cela permette également des gains sur l'énergie engagée, globalement, pour la réalisation de la pièce. La valeur ajoutée obtenue par ce gain de performance intrinsèque et fonctionnelle compense ainsi le prix de fabrication généralement plus élevé.

**4.1.4** Enfin, la « gamme » de fabrication d'un produit est généralement plus courte car l'opération de fabrication additive peut remplacer plusieurs opérations avec des procédés plus classiques. D'où des gains en matière de délai et de logistique. Cependant, la productivité des procédés classiques est souvent bien meilleure. Il faut donc étudier au cas par cas, pièce par pièce, ce qui peut effectivement être gagné.

**4.1.5 Enjeux sur les investissements.** Les coûts d'investissements pour des nouveaux entrants seront probablement modestes par rapport aux coûts nécessaires pour s'équiper de techniques de production plus traditionnelles. Ce sera en particulier le cas pour les pays en voie de développement. A condition de pouvoir maîtriser la technologie, ceci permettra plus de développements locaux à la fois du point de vue des investissements et de celui de la formation nécessaire.

## 4.2 Cas de la France

**4.2.1** Il y a des acteurs industriels positionnés sur la chaîne de valeur (machines, matériaux, pièces et services), proposant chacun des technologies différentes. De nombreuses opportunités existent pour eux (voir **encarts 3 et 5**, et **annexe 2 - section 2**).

### **Encart 3 - L'accompagnement des grands acteurs industriels dans leurs innovations et procédés de production, dans leur transformation numérique**

Prodways Group, pôle impression 3D du Groupe français Gorgé, a consolidé sa position sur l'ensemble de la chaîne de valeur (machines, matières, pièces et services) par l'acquisition stratégique de certaines entreprises (à titre d'exemple AvenAo en 2017, intégrateur des applications de conception et de développement 3D Dassault Systèmes). Son objectif est de devenir le 3<sup>e</sup> acteur mondial du domaine. Il élargit ainsi l'offre pour l'industrie dans les secteurs notamment de l'aéronautique et du médical pour accompagner la transformation numérique des entreprises (Prodways a par exemple signé un partenariat avec Safran en 2017).

Le Groupe concentre aussi ses activités sur le « rapid manufacturing », impression 3D appliquée aux séries industrielles. Il proposera dès février 2018 une imprimante industrielle utilisant la technologie RAF (Rapid Additive Forging) pour produire en série des pièces de grande taille en titane, dont la qualité métallurgique répond aux exigences du secteur aéronautique. Des acteurs de l'aéronautique estiment que cette technologie pourrait être appliquée à près de 50% des pièces en titane utilisées dans la fabrication d'avions.

**4.2.2 Pour les grandes entreprises utilisatrices**, il faut différencier le domaine des pièces en polymère (déjà largement industriel) de celui des pièces métalliques, voire de celui d'autres « matériaux » (verres, sables, tissus vivants, bétons...). Chaque cas est vraiment très différent.

Dans le domaine des matériaux métalliques, par exemple, l'aéronautique est fortement impliquée dans le développement de ses produits avec ces technologies car il y a des enjeux très importants au niveau des pièces de rechange, sur la possibilité d'alléger encore plus les structures et sur les gains en matières premières et en énergie au cours de la fabrication. Cependant, malgré cette implication qui se traduit par une expérience en matière de prototypage de plusieurs années déjà, très peu de pièces métalliques dites non critiques sont aujourd'hui certifiées (par exemple 4 dans le cas de Safran, 1 dans le cas de GE Aviation). Le chemin pour fabriquer des pièces dites critiques est encore long car il est nécessaire de construire la robustesse des procédés de fabrication. De plus, la stratégie adoptée par les acteurs industriels positionnés sur la chaîne de valeur citée précédemment freine l'utilisation généralisée de cette technologie (voir **encart 4 et annexe 2 - sections 3 et 4**). Cette stratégie sera rapidement remise en question par la concurrence chinoise et américaine.

**Encart 4 - La stratégie adoptée par les fabricants d'imprimantes et de matières premières versus le plus grand développement des pièces imprimées**

Selon Safran Additive Manufacturing (SAM)\*, il y a des rendez-vous à ne pas manquer dans tout programme de développement aéronautique. Dans le cas d'un nouvel avion tel que le A350 certifié il y a bientôt 3 ans par exemple, on sait déjà à quel moment il y aura une opportunité pour introduire des changements de technologie. Il ne faut pas la rater. Cela implique d'avoir fait la démonstration technique et industrielle de la technologie.

Aujourd'hui, les besoins pour les nouveaux avions certifiés se situent au niveau de l'optimisation des coûts, des délais et de la qualité, pas au niveau du re-design des pièces et de leur allègement. Les fabricants doivent adapter leurs produits aux besoins des industriels, adapter les prix qui aujourd'hui sont un véritable frein à l'utilisation plus généralisée de ces technologies car les potentialités sont importantes. Ils en prennent conscience progressivement.

\* SAM est la nouvelle entité créée en 2015 pour accompagner la généralisation de la fabrication additive au sein du Groupe Safran et pour conduire des programmes de R&D produits et services

Voir aussi en **annexe 2, sections 3 et 4**

Le secteur de l'automobile est dans une situation différente car les séries y sont beaucoup plus importantes. La vitesse à laquelle la fabrication additive pourrait concurrencer des procédés éprouvés et optimisés pour de grandes séries n'est pas encore claire. Cela étant, l'évolution en cours des performances des imprimantes, précisément pour l'impression métallique rend de plus en plus envisageable la production de masse. MICHELIN est le 1<sup>er</sup> cas (voir **encart 5**). Desktop Metal, start-up américaine, va fournir cette année des machines dont la vitesse de production des pièces dites « vertes »<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Une pièce verte est une pièce intermédiaire obtenue après injection à chaud et sous pression dans un moule d'une poudre métallique et d'un liant à base de polymère, dans le procédé MIM

a été multipliée par 100 (*impression 3D metal low cost solution*). L'impression métal devrait s'envoler en 2018.

En revanche, il peut y avoir des enjeux importants concernant la personnalisation du véhicule mais aussi la fabrication des outillages utilisés par cette grande industrie. C'est ainsi le cas de AddUp, qui fabrique notamment des outillages de pneus par fabrication additive (**encart 5**). D'une manière générale, la fabrication d'outillages est d'ailleurs un enjeu important même hors automobile.

**Encart 5 - AddUp, une co-entreprise MICHELIN – FIVES**

AddUp a été créée en 2015 pour proposer le savoir-faire combiné de ces Groupes à d'autres entreprises en matière de machines et des solutions d'impression 3D métal. MICHELIN par exemple déploie à l'échelle industrielle la fabrication additive de 650000 lamelles métalliques par an pour ses moules de cuisson de pneu (1<sup>er</sup> grand succès industriel mondial). Les designs spécifiques possibles et diversifiés de moules de cuisson des pneus obtenus grâce à la fabrication additive de ces lamelles permettent en effet de jouer sur la sculpture des pneus, donc sur leur performance, jamais atteinte auparavant.

Cette co-entreprise anime un programme de recherche appliquée sur 6 ans dans le domaine de la fabrication additive métallique, SOFIA, qu'elle a initié fin 2016. Ce programme qui associe industriels et académiques est axé sur le développement de l'ensemble de la chaîne de production (élaboration des poudres, équipements et procédés d'impression) pour répondre en particulier aux exigences de l'industrie aéronautique. Il est financé par BPI France dans le cadre d'un PIA.

Voir également en **annexe 2 pour les voies de captation de la valeur ajoutée liée à l'impression 3D**

De même pour les verres, on pourra viser le marché des bouteilles de parfum où la différenciation par la forme et la couleur est majeure. Ce ne sera pas le



cas pour les bouteilles de vin ou de bière « grand public », par exemple (voir **encart 6**).

#### **Encart 6 - Secteur de l'emballage verrier pour boissons et produits alimentaires**

Cette technologie est surveillée de près par les grands acteurs du domaine comme VERALLIA (3<sup>e</sup> producteur mondial). Des travaux très intéressants du Karlsruhe Institute of Technologie montrent que des objets en verre d'une grande précision dimensionnelle peuvent être réalisés avec un état de surface de plus en plus lisse.

Un point fort de cette technologie est effectivement de faciliter la différenciation entre article (dans le respect de ce que la résistance mécanique du matériau autorise par rapport à l'usage qui sera fait de l'objet) en plus de pouvoir s'affranchir de toute moulure.

La recyclabilité des produits finis sera un point clé pour permettre un éventuel changement de procédé. Le verrou majeur aujourd'hui reste les temps de cycle qui sont très éloignés des vitesses de production. Compte tenu de cela, à moins d'une invention de rupture permettant de faire un bond dans la vitesse d'impression, tout en bénéficiant d'une matière première recyclée (à iso-coût, voire moindre) et de déboucher sur un coût global de fabrication compétitif, une retombée possible n'est pour le moment pas entrevue dans ce secteur d'activité.

Dans le secteur du bâtiment, des initiatives existent. Elles concernent majoritairement l'impression 3D directe (sur site) ou indirecte (réalisation d'éléments de structure en usine et assemblage sur site) de maisons individuelles et de bureaux, à partir de bétons, mortiers et argiles<sup>8</sup>. Peu d'exemples concernent l'impression 3D d'immeubles. Bouygues Construction

---

<sup>8</sup> En France par exemple, Lafarge et la start-up XtreeE pour la réalisation d'éléments de structure de maisons bas carbone, Constructions 3D pour l'impression 3D sur site de maisons

a mené une expérience de coulage du béton, mais le Groupe en est aux prémices de la technologie.

Les exemples ci-dessus montrent que l'industrie lourde française s'est déjà largement mobilisée<sup>9</sup>.

Il serait important pour la France de promouvoir et d'accompagner cet écosystème formé par l'ensemble des acteurs mobilisés sur la fabrication additive. Il y a là une véritable opportunité de reconstruire une filière machine-outil française spécifique et de soutenir le développement d'une filière additive qui pourra avoir une place non négligeable dans les usines de demain.

#### **4.2.3 Le cas des ETIs et PME**

L'encadré 1 montre que certaines entreprises se sont déjà bien engagées dans cette évolution. Cependant, selon Ernst & Young<sup>10</sup>, environ 75% des 900 entreprises prises en compte dans leur étude (au niveau mondial) n'ont aucune expérience de l'impression 3D. La principale raison invoquée est le manque d'information sur ses capacités.

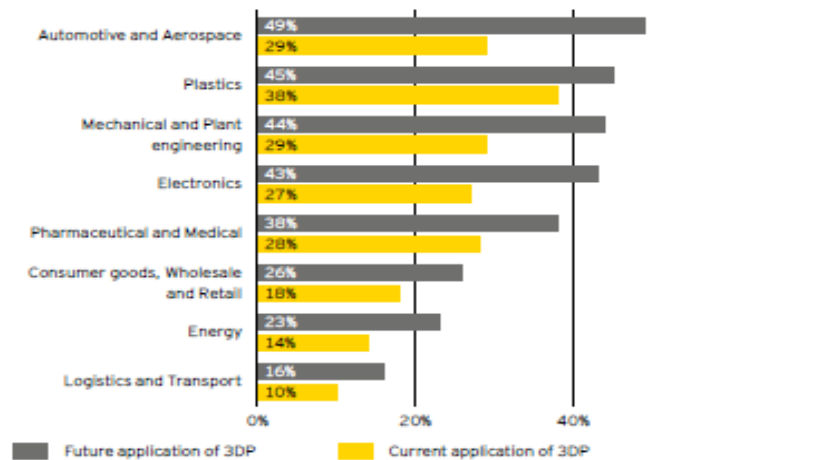
Une croissance en matière d'adoption des techniques de fabrication additive par tous les secteurs est néanmoins attendue au cours des prochaines années.

Ceci souligne l'importance de la sensibilisation et de la formation (voir § 4.3.4 et **encarts 7 et 8**). Il y a en effet peu de secteurs qui ne soient, finalement, touchés. Autant, la prudence est recommandée, autant l'absence de réaction serait grandement préjudiciable.

---

<sup>9</sup> Voir en **annexe 2** quelques autres remarques générales sur le sujet

<sup>10</sup> How Will 3D Printing Make Your Company The Strongest Link In The Value Chain ?, Ernst & Young's Global 3D Printing Report 2016



Evolution de l'adoption par les entreprises des techniques d'impression 3D selon Ernst & Young – étude portant sur 900 entreprises dans 12 pays dont les USA (200), la Chine et la Corée du sud (170), la France (80), l'Allemagne (200) et l'Angleterre (100)

## 4.3 Autres enjeux

### 4.3.1 Enjeux en matière d'emploi

C'est évidemment un point crucial pour notre pays. Les technologies développées nécessiteront de nouvelles compétences et en rendront obsolètes d'autres. L'effet global est difficile à estimer et le cadencement dans le temps encore plus. On ne peut qu'insister sur la formation nécessaire à plusieurs niveaux pour ne pas « rater le coche » sous peine de voir supprimer des emplois chez nous et en voir se créer ailleurs.

Globalement, la technologie va se développer, bien qu'on ne sache pas encore dans quelle proportion. Il faut donc évaluer les impacts sociétaux au cas par cas (déplacement des industries traditionnelles). Ceci est particulièrement critique pour aider à la transformation de l'industrie mécanique (sujet largement traité par la Fédération des Industries Mécanique

- FIM et l'Académie des technologies). Les pays en retard en formation 4.0 seront aussi en retard en réindustrialisation.

### 4.3.2 Enjeux environnementaux

Sur le plan environnemental, l'impression 3D nécessite moins de matières premières et produit moins de déchets que l'usinage par découpe. Son utilisation posera cependant de façon nouvelle la question du recyclage des co-produits et déchets néanmoins engendrés. Le bilan énergétique semble également favorable. Il faut néanmoins faire une analyse de cycle de vie (ACV) au cas par cas.

### 4.3.3 Enjeux d'aménagement du territoire

L'impact en matière d'aménagement du territoire peut aussi être important car ces technologies incitent à la relocalisation de la production près du client utilisateur. L'étude précédemment citée indique qu'un peu plus de 40% des 900 entreprises interrogées à travers le monde pensent que cette technologie impactera la localisation des usines. Cette relocalisation s'amplifiera encore avec les produits innovants de demain.

### 4.3.4 Enjeux de formation

L'impression 3D pourrait avoir une utilité dans le domaine de la formation :

- (i) formation générale, où dans les cours de technologie pour tous, sa généralisation permettrait de « toucher la matière », des exercices de création et design, de conception (dont codage élémentaire), de fabrication de produits familiers. La dimension ludique ajouterait un attrait à ces enseignements ;
- (ii) formation professionnelle où le renforcement de sa présence accompagnerait une montée en compétences dans le champ de la conception innovante et du design (voir aussi **encart 8** en complément).

Dans les deux cas, la fabrication additive est une source d'expérimentation, de sensibilisation au réel par rapport au virtuel.

De plus, la possibilité de passer, de plus en plus facilement, d'une image en deux ou trois dimensions à un objet peut avoir un impact extrêmement positif sur la culture technique de chacun. Ceci peut contribuer à redonner de la valeur aux processus d'apprentissage et aux métiers techniques. L'Education Nationale devrait donc s'appropriier ce nouvel outil.

#### **Encart 7 - Des leviers possibles pour la montée en compétence des PME**

D'après Sculptéo\*, 2 approches sont nécessaires : / une communication sur les capacités des technologies d'impression 3D devrait être organisée par les pouvoirs publics pour convaincre les équipes de direction technique de les adopter / La possibilité de recruter gratuitement sur une période de 2 ans le 1<sup>er</sup> ingénieur.

\*Sculptéo, leader mondial français de la fabrication digitale, offre un service en ligne d'impression 3D et de découpe laser professionnelles. L'entreprise propose aussi une production sur demande de prototypes, produits individuels et petites séries

#### **Encart 8 - Le point de vue d'une ETI sur les connaissances de base en 4.0**

D'après AXON'CABLE, l'impression 3D tout comme les objets connectés, est un des sous-ensembles de l'industrie 4.0. L'industrie 4.0 doit s'enseigner comme de la culture générale de base dès le collège, voire le primaire. Les connaissances de base en 4.0 sont les suivantes :

**Conception de dessins en 3D** (il y a des logiciels gratuits : 1-2-3 design...), **impression 3D** (il suffit de brancher une imp3D plastique à 500€ sur la sortie USB du PC), **découpe laser** (permet de la production 3D en strato-conception : coût de la machine laser 1,5K€), **programmation ARDUINO** (1 automate Arduino = 10€), **anglais technique** (50 mots à apprendre pour programmer facilement l'ARDUINO), **utilisations de capteurs, de LED et de moteurs** (le kit Arduino très complet coûte 50€).

Il y a des initiatives intéressantes dans ce sens de la part d'industriels. L'entreprise AddUp, déjà citée propose aujourd'hui d'acquérir gratuitement des connaissances de base en impression 3D grâce à des formations en ligne (MOOC) sur un site dédié.

Il y a donc des potentialités en matière d'aide à la formation. Il y a, par ailleurs des enjeux du côté du besoin en formation avec la nécessité de formations spécialisées car la technologie demande des connaissances en matériaux, logiciels, contrôle, etc... C'est un point important et urgent.

#### **4.3.5 Enjeux juridiques**

La technologie va permettre que toute l'information relative à une fabrication puisse être, au moins partiellement, reproduite et copiée comme on le fait pour un logiciel. Il faudra donc sans doute modifier certaines règles de propriété industrielle entre droit des brevets et droit des logiciels. Ainsi, faudra-t-il peut-être enregistrer ses modèles à l'INPI.

La contrefaçon sera également grandement facilitée. Il y aura donc la question de la traçabilité des pièces. La question de la traçabilité pose celle de la certification et de la qualité réelle des pièces réalisées. Les acteurs se positionneront très certainement sur la traçabilité de la qualité. La sécurisation numérique (crypto) des données sera un levier pour accompagner les applications exigeantes en termes de sécurité.

### **5. De façon prospective, en quoi l'impression 3D pourrait-elle bouleverser les modes de production ?**

Beaucoup de points ont été abordés dans le paragraphe précédent.

C'est une révolution pas seulement pour la production, mais aussi pour l'organisation de la structure des usines et des laboratoires ainsi que des méthodes de distribution. C'est la conjonction du progrès des ordinateurs, du calcul des structures, de la robotique généralisée, des matériaux et de la maîtrise de l'ensemble qui créera la rupture.

Les secteurs les plus concernés ont déjà commencé leurs travaux pour utiliser la technologie. Il y aura de nouveaux acteurs qui fourniront des machines, des logiciels interfacés avec les grands logiciels de CAO, mais aussi des acteurs actuels qui auront su évoluer (usineurs, traitements de surface, fabricants de matériaux, fournisseurs d'outils de contrôle, ingénierie fournisseurs d'usines « clé en main », etc..).

De nombreux acteurs (industriels et académiques) ont pris des initiatives pour travailler en réseau, capitaliser leurs connaissances et en acquérir de nouvelles, ainsi que cela a été évoqué précédemment. Il faut les soutenir et les renforcer. En Allemagne, aux USA, à Singapour, en Chine, ...des centres de référence coordonnés émergent (au moins dans les présentations). Ceci pose la question d'une coordination nationale (via le CETIM ? Les Instituts CARNOT ?...).

### **6. Où en est la recherche, en particulier en France et en Europe par rapport aux autres continents ? En particulier, y mène-t-on des recherches en impression 3D de pointe (bio-impression, impression 3D du graphène, nano-impression, impression 4D, etc...) ?**

Il y a beaucoup d'activités de recherche en France dans pratiquement tous les domaines, à un bon niveau. En particulier, il y a des équipes dans tous les domaines que vous évoquez (bio-impression, impression 3D du graphène, nano-impression, impression 4D, etc.). Le sujet est plutôt sur leur coordination « souple » afin d'éviter les doublons tout en maintenant une grande liberté aux innovateurs. Ainsi, l'AIF avec le CETIM cherche à faire un minimum de coordination et chaque région cherche à se spécialiser (c'est encore embryonnaire).

Par ailleurs, des regroupements importants se mettent en place : citons la création d'une plateforme de fabrication additive au CEA Saclay, le AFH (Additive Factory Hub, inaugurée en décembre 2017) pour accélérer le développement de l'impression métallique, pilotée par le CETIM et le CEA. Elle réunit des acteurs académiques et industriels (utilisateurs finaux et fournisseurs de technologies tels que Safran, Dassault systèmes, EDF...) pour des projets de R&D mutualisés et pour faciliter les transferts technologiques vers les PME. Ce dernier point est important pour leur montée en compétence technologique, problématique largement traitée par l'Académie des technologies<sup>11</sup>.

Il y a de grands programmes nationaux aux USA, en Allemagne, au Japon et en Chine (cette dernière a lancé des programmes 3D en 1995 et depuis 2005 elle y a investi des sommes considérables), avec des aspects académiques de bon niveau, mais aussi industriels.

---

<sup>11</sup> Conclusions sur cette problématique à paraître au 2<sup>e</sup> semestre 2018

## **7. Les règles existantes (France, Union européenne, international) sont-elles adaptées ?**

Il y a des normes qui sont déjà publiées ou en cours d'élaboration (le groupe de travail ISO/TC 261 prépare une norme sur le sujet depuis 2013, au niveau européen le comité technique CEN/TC 438 a été mis en place en janvier 2015). Un des groupes mis en place par l'AIF traite de ce sujet encore mouvant (CETIM...).

Pour l'instant ce sont des règles d'autres origines (environnementales telles que REACH ou RoHS, gestion des personnels, sécurité des personnes et des produits, principe de précaution, etc..) qui peuvent être applicables, mais il n'y a rien de vraiment spécifique à la fabrication additive. Pour le secteur médical par exemple, il n'y a pas d'environnement dédié à la fabrication additive au LNE -GMED, organisme de certification.

En revanche, il faudra prévoir des évolutions réglementaires pour anticiper les difficultés probables dues à la démocratisation de la technologie (voir § 4.3.5 concernant l'évolution des règles de PI et de contrefaçon).

Il s'agit de trouver le bon dosage, entre la création de normes qui permettent de partager un contexte commun, sans dresser de barrières trop contraignantes à la démocratisation des technologies.

En revanche, les secteurs très réglementés tels que l'aéronautique ou le médical doivent s'appuyer sur des normes claires.

## **8. Faut-il une intervention de la puissance publique (France, Union européenne) et si oui laquelle ?**

Comme indiqué ci-dessus, un minimum de coordination des interventions de la puissance publique aux différents niveaux géographiques serait bienvenue (PIA, DGE, DGRI, Régions, départements, métropoles, etc...). Ceci concerne à fois les initiatives de soutien financier à la formation (initiale ou continue), à la recherche, au développement ou au déploiement industriel. La stratégie nationale nécessite donc un savant dosage entre coordination, centralisation, initiative privée et délégation des décisions à différents niveaux géographiques.

L'Etat a, en particulier, un rôle stratégique à jouer pour susciter des recherches, du développement et de l'innovation sur les points critiques suivants correspondants aux points jugés importants dans la chaîne de valeur (§ 3) :

- Développement de nouveaux matériaux de déposition et coordination de l'expertise matériaux au niveau national
- Développement des machines, des logiciels, leur sûreté (cryptage) et leur interfaçage
- Automatisation et intégration ainsi que la maîtrise des procédés pour l'augmentation des performances
- EVENTUELLEMENT en SUSCITANT la création de centres d'excellences

## ANNEXE 1 : familles de procédés, matériaux utilisables

Les transparents suivants ont été fait par le pôle Materialia (<https://www.materialia.fr/>) dans le Grand Est.

### La fabrication additive : de nombreux procédés

#### 7 familles de procédés

**Vat photopolymerization**

**Binder Jetting**

**Material extrusion**

**Direct energy deposition**

**Material Jetting**

**Powder bed Fusion**

**Sheet lamination**

**Table 1 – Overview of the processes categories and the typical associated feedstock**

Materials	Example materials	Process categories						
		Vat photo-polymerization	Material jetting	Binder jetting	Powder bed fusion	Material extrusion	Directed energy deposition	Sheet lamination
Thermoset Polymers	Eponies and acrylates	X	X					
Thermoplastic polymers	Polyamide, ABS, PPSF		X	X	X	X		X
Wood	paper							X
Metals	Steel, Titanium alloys, Cobalt chromium			X	X		X	X
Industrial ceramic materials	Alumina, Zirconia, Silicone nitride	X		X	X			X
Structural ceramic materials	Cement, Foundry sand			X	X	X		

Note: Combinations of the above material classes, e.g. a composite, are possible.

Les types de procédés sont assez différents : d'une manière générale, on amène du matériau sous forme de poudre de fil de plaque fine ou de liquide. La matière est fondue, modifiée, travaillée ou déposée par des robots articulés 3D pilotés numériquement. Suivant la matière traitée (métal, polymères, céramiques, verres, tissus vivants, aliments, cartons, bétons, briques, etc..), il y a évidemment des technologies concrètes très différentes même si les concepts de base du design des produits et du pilotage numérique en 3D des robots sont les mêmes.

### La fabrication additive: Matériaux utilisables

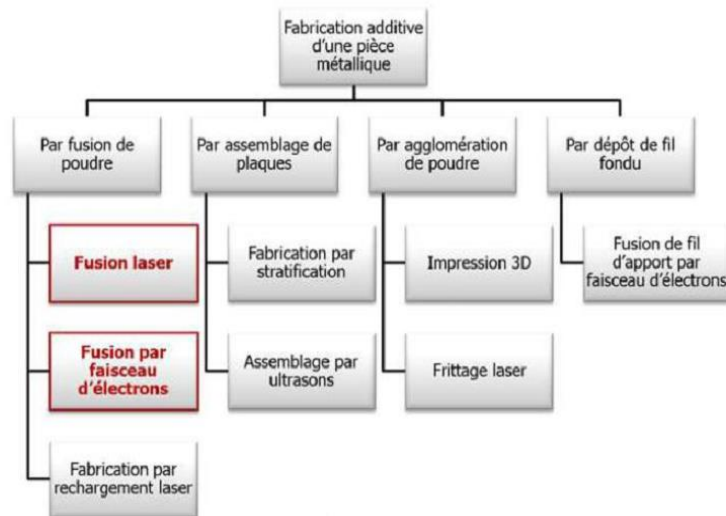


Organic materials	Ceramic materials	Polymeric materials	Metallic materials
Waxes	Alumina	ABS	Aluminium
Tissue / cells	Mullite	Polyamide (nylon)	Tool Steel
Wood, Cardboard	Zirconia	Filled PA	Titanium
	Silicon Carbide	PEEK	Inconel
	Beta-Tri calcium Phosphate	Thermosetting epoxies	Cobalt Chrome
		Ceramic (nano) loaded epoxies	Copper
	Silica (sand)	PMMA	Stainless steel
	Plaster	Polycarbonate	Gold / platinum
	Graphite	Polyphenylsulfone	Hastelloy
		ULTEM	
		Aluminium loaded polyamide	
<b>Multimaterial – multifunctional systems</b>			

On voit ici tous les types de matière qu'il est possible de traiter. On conçoit bien que le type de machine sera différent lorsque le produit à réaliser sera en titane ou en silice. Notons toutefois que la possibilité de déposer plusieurs matériaux « pas trop différents » sur une seule machine « multi-tête » peut être très attractive. L'hybridation des procédés est en effet une tendance récente très notable : il y a deux têtes de robots dans une même enceinte déposant des matériaux différents.

## La fabrication additive : de nombreux procédés

### MÉTAL

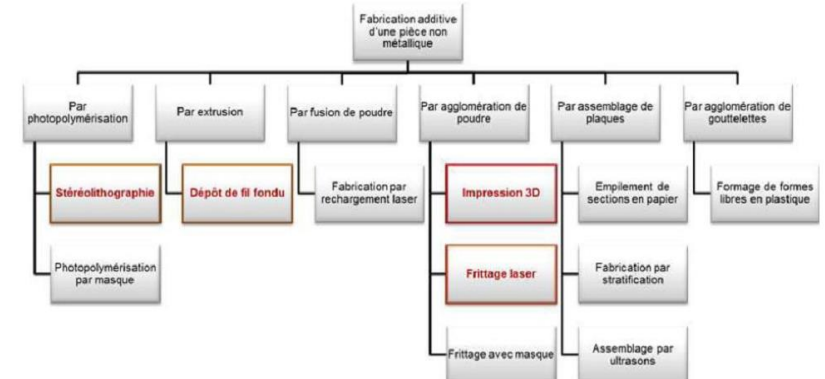


Pour le métal, il y a 4 grandes classes de technologies en partant de poudres de plaques ou de fils. Le choix de la technologie est délicat. Lorsqu'on fond un métal, l'oxydation est un problème et il faut donc travailler sous vide ou sous atmosphère inerte. La poudre permet un état de surface « acceptable » pour certaines applications. Il faut néanmoins développer des traitements spécifiques car réuser des pièces 3D compliquées n'est pas toujours possible. Le fil permet des productivités meilleures mais ne permet pas toutes les formes. La France jouit d'une position enviable pour le rechargement laser (société BeAm déjà citée) et la fabrication à partir de plaques par stratification<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> <https://cirtes.com/>

## La fabrication additive : de nombreux procédés

### NON METAL



La fabrication additive a commencé pour les polymères grâce à des techniques de polymérisation ou réticulation dans le volume au moyen de lasers. Ceci est largement industrialisé. Il y a encore beaucoup de recherches dans le domaine pour trouver des matériaux gardant de bonnes propriétés dimensionnelles tout en permettant des cadences élevées. Le domaine est déjà largement développé avec de nombreux industriels proposant des produits.

## ANNEXE 2 : Autres éléments d'intérêt

### 1/ Liste d'entreprises intéressantes dans le cas particulier de la fabrication additive métallique

Acteurs intervenant sur le marché français (non exhaustifs)
<b>Fournisseurs de poudre</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• ERASTEEL (filiale ERAMET)</li><li>• COOKSON (métaux précieux)</li><li>• Praxair...</li></ul>
<b>Fabricants de machines</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• BEAM Machines (France)</li><li>• Fives Michelin Additive Solutions (France)</li><li>• EOS (Allemagne)</li><li>• 3D Systems (USA)</li><li>• Realizer (Allemagne)</li><li>• Concept Laser (Allemagne)</li><li>• ...</li></ul>
<b>Prestataires (concepteurs/ designers, imprimeurs, usineurs...)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• 3A</li><li>• 3D&amp;P</li><li>• AFU</li><li>• AGS Fusion</li><li>• Cresilas</li><li>• ERPRO</li><li>• Fusia</li><li>• GM Prod</li><li>• Initial</li><li>• OMG</li><li>• Poly-Shape</li><li>• Prismadd</li><li>• Volum-e</li><li>• ...</li></ul>

### 2/ Les autres voies de captation de la valeur ajoutée liée à l'impression 3D dans les processus de production pour différents secteurs évoqués par un spécialiste du domaine, AddUp

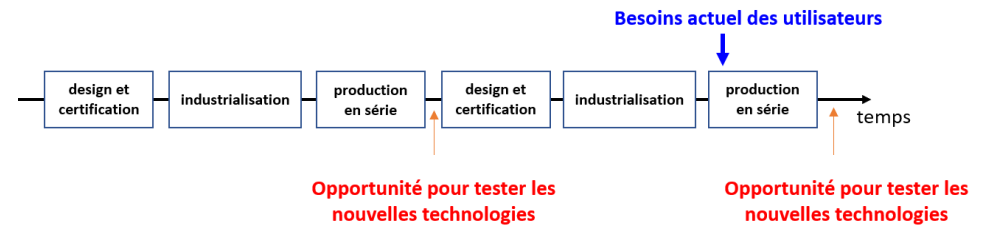
- La conception d'avions de nouvelle génération dans le **secteur aéronautique**. En raison des contraintes réglementaires, le processus de requalification des pièces obtenues par fabrication additive sur les avions existants entraîne en effet un surcoût.
- Dans le **secteur de l'outillage**, les gabarits, moules et outils d'assistance opérationnelle utilisés tout au long des processus de fabrication est une réalité industrielle à court terme pour la production en grande série. Par exemple, dans le moulage par injection plastique, l'atout de la technologie est en effet la capacité à fabriquer des moules plus efficaces en termes de refroidissement, impactant la vitesse de réinjection du plastique, et donc l'augmentation des cadences de production.
- Dans le **secteur automobile**, outre les possibilités d'impression des composants intérieurs et extérieurs non structurels, de personnalisation esthétique de masse pour une plus grande pénétration du marché, l'analyse de la chaîne globale depuis la conception jusqu'au transport est aussi nécessaire. Il faut s'interroger sur la manière dont cette technologie peut être utilisée pour obtenir des résultats inabordables autrement, ne pas chercher par exemple à réduire les coûts de fabrication à iso-design. D'autre part, certains acteurs souhaitent faire vivre leurs modèles. Les pièces de collection sont un créneau à regarder.
- La fabrication additive pourrait aussi accompagner la dynamique du **marché de l'énergie** qui se transforme avec l'introduction des



énergies renouvelables et le développement des systèmes de stockage (H<sub>2</sub>, électricité) et de recharge, au plus près des usages.

- Le **secteur médical** est un marché très structuré et réglementé. Il y a 2 approches : démontrer qu'il est possible d'apporter de la robustesse à l'exploitation industrielle ; montrer sa capacité à accompagner l'innovation (ex. du partenariat avec Carmat). Par ailleurs, la personnalisation fonctionnelle de dispositifs médicaux (prothèses, implants...) tirera le développement de la technologie.
- Enfin, dans toute analyse d'intégration de cette technologie dans une chaîne de production, il est indispensable de prendre en compte le coût d'usage des imprimantes et des produits imprimés utilisés dans les procédés de fabrication.

### 3/ Les rendez-vous à ne pas manquer dans un programme aéronautique Selon Safran Additive Manufacturing



### 4/ La stratégie adoptée par les fabricants d'imprimantes et de matières 1<sup>ères</sup> vs le plus grand développement des pièces imprimées

Le coût de fabrication d'une pièce métallique est réparti de la façon suivante :

- 50% pour l'obtention d'un brut (dont le coût de la matière 1<sup>ère</sup> représente de 2-15%, le reste étant l'amortissement de l'imprimante)
- 50% pour la post-fabrication ( finition de surface, traitements thermiques, machine...)

Le poids de la matière 1<sup>ère</sup> (poudre métallique) qui est aujourd'hui perçue comme faible augmentera au fur et à mesure des progrès réalisés sur la post-fabrication.

Les fabricants doivent se positionner rapidement au bon niveau compte-tenu du besoin actuel des utilisateurs (voir **section 3/**).